REVISTA ESPAÑOLA DE FISIOLOGIA
R. esp. Fisiol., 16, n.º 4, págs. 265-276

Laboratorio de Biología. Facultad de Ciencias
Universidad de Valladolid

# Estudio sobre el transporte del hierro sérico en dos especies de aves palmípedas

por
José Planas y José M.ª Recio

(Recibido para publicar el 19 de octubre de 1960)

El metabolismo del hierro en las aves, especialmente en lo que se refiere a su mecanismo de transporte por el suero, ha sido poco estudiado. Sobre las gallinas se han publicado algunos trabajos referentes a diferentes aspectos metabólicos del hierro, relacionados con la puesta (1, 12) o no (5). En las palmípedas hemos hallado una cita sobre sideremia (13) y un reciente estudio sobre el metabolismo en el pato con ayuda de $Fe^{59}$ (3), en el que se refiere especialmente a la vida media de los eritrocitos, a la incorporación del hierro marcado en el citocromo C, y a su excreción. También ha sido estudiada la absorción «in vitro» de hierro radioactivo por eritrocitos de pato (2).

Por el contrario, el problema del transporte sérico del hierro presenta para nosotros un gran interés, y ha sido analizado en el pavo (6) y en la gallina (7), así como en varios mamíferos (8, 9).

La observación apuntada por RAMSAY y CAMPBELL (12) de que las gallinas en época de puesta presentan sideremias muy elevadas fue comprobado en este laboratorio (8), y analizado posteriormente con más detalle (7). La conclusión de dicho estudio fue considerar que la exaltación del metabolismo del Fe durante la puesta supera la capacidad transportadora de la $\beta_1$-globulina fijadora del hierro (siderofilina), y que quizás el Fe debe también fijarse a otras fracciones proteicas.

En el presente trabajo estudiamos el transporte del Fe en el suero en patos y gansos, prestando especial atención a las hembras en puesta, a fin de comprobar si la observación apuntada en las gallinas puede hacerse extensiva también a otras aves.

## Material y métodos

Las aves estudiadas pertenecen a las especies siguientes: pato *(Anas platyrhynca)* variedad Kaki-Campbell, y ganso común blanco *(Anser anser)*.

Las muestras de sangre se han obtenido por punción en la vena del ala con adición de heparina en la jeringa. Un volumen de 10 c.c. de sangre es más que suficiente para realizar las determinaciones en el plasma.

Los métodos seguidos para la determinación del hierro en suero o plasma, y el de la capacidad total de fijación, han sido los propuestos por RAMSAY (10, 11).

En muchas muestras se han determinado también los contenidos en Fe del plasma después de un tratamiento previo del mismo con $CO_3Mg$: 1 c.c. plasma + 2 c.c. agua bidestilada + 0,200 mg $CO_3Mg$. Agitar. A los 30 minutos centrifugar y determinar el Fe en el sobrenadante.

Han sido elaborados estadísticamente los datos correspondientes a sideremias (S) y capacidades totales de fijación (CTF), así como los valores de saturación de la siderofilina (coeficientes de saturación, CS) que se calculan a partir de aquellos. Las comparaciones entre los valores medios de diferentes grupos de aves han sido sometidos a una prueba de significación («t» de Student).

## Resultados

En la Tabla I se muestran los valores obtenidos en los patos en las determinaciones de hierro sérico (S) y capacidad total de fijación (CTF), así como los valores correspondientes a los coeficientes de saturación (CS). Las diferentes aves estudiadas quedan agrupadas en tres lotes (machos, hembras no en puesta y hembras en puesta), de los cuales se dan sus valores medios, errores y desviaciones típicas.

En la Tabla II pueden apreciarse los datos correspondientes a los gansos.

En la Tabla III se relacionan los valores de sideremia (S), capacidad total de fijación (CTF), y sideremia ($S_{mg}$) previo

TABLA I

*Valores de sideremia (S), capacidad total de fijación del hierro (CTF) y de coeficiente de saturación (CS) correspondientes a la especie* Anas platyrhynca

| | Ejemplar | S γ Fe % | CTF γ Fe % | CS % |
|---|---|---|---|---|
| *Machos* | P-3 | 145 | 440 | 32,9 |
| | P-4 | 65 | 525 | 12,3 |
| | P-5 | 70 | 750 | 9,3 |
| | P-6 | 60 | 712 | 8,4 |
| | P-7 | 340 | 765 | 45,7 |
| | P-8 | 275 | 615 | 44,7 |
| | Media | 159,1 ± 50<br>$\sigma$=110,2 | 634,5 ± 54.5<br>$\sigma$=120,1 | 25,5 ± 7,3<br>$\sigma$=16,1 |
| *Hembras no en puesta* | P-1 | 197 | 547 | 36 |
| | P-2 | 160 | 570 | 28 |
| | P-9 | 85 | 375 | 22,6 |
| | P-10 | 90 | 315 | 28,5 |
| | P-11 | 150 | 552 | 27,1 |
| | P-12 | 110 | — | — |
| | Media | 132 ± 18,5<br>$\sigma$ = 40,5 | 472 ± 54,2<br>$\sigma$ = 108,5 | 28,4 ± 2,1<br>$\sigma$ = 4,3 |
| *Hembras en puesta* | P-13 | 575 | 340 | 169,1 |
| | P-14 | 760 | 483 | 157,3 |
| | P-15 | 675 | 472 | 143 |
| | P-16 | 1400 | 675 | 207,4 |
| | P-17 | 1380 | 502 | 274,9 |
| | P-18 | 1300 | 336 | 386,9 |
| | P-19 | 1150 | 285 | 403,5 |
| | P-20 | 1000 | 375 | 266,6 |
| | P-21 | 990 | 375 | 264 |
| | P-22 | 710 | 450 | 157,7 |
| | P-23 | 1500 | 645 | 232,5 |
| | P-24 | 1090 | 510 | 213,7 |
| | P-25 | 1150 | — | — |
| | P-26 | 1480 | — | — |
| | P-27 | 1150 | 600 | 191,6 |
| | P-28 | 1270 | 540 | 235,1 |
| | P-29 | 1480 | 780 | 189,7 |
| | P-30 | 950 | 600 | 158,3 |
| | P-31 | 1300 | 600 | 216,6 |
| | Media | 1065 ± 68<br>$\sigma$ = 286,6 | 504 ± 32,9<br>$\sigma$ = 131,8 | 227,5 ± 18,1<br>$\sigma$ = 72,7 |

TABLA II

*Valores de sideremia (S), capacidad total de fijación (CTF) y coeficiente de saturación (CS) del suero correspondiente a la especie* Anser anser

| Machos | | | | Hembras no en puesta | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ejemplar | S γ Fe % | CTF γ Fe % | CS % | Ejemplar | S γ Fe % | CTF γ Fe % | CS % |
| Ga-5 | 180 | 570 | 31,6 | Ga-1 | 145 | 622 | 23,3 |
| Ga-7 | 217 | 660 | 32,8 | Ga-2 | 175 | 495 | 35,3 |
| Ga-8 | 200 | 607 | 32,9 | Ga-3 | 175 | 727 | 24 |
| Ga-9 | 155 | 465 | 33,3 | Ga-4 | 190 | 600 | 31,6 |
| Ga-10 | 90 | 547 | 16,4 | Ga-12 | 155 | 510 | 30,4 |
| Ga-11 | 135 | 427 | 31,6 | Ga-14 | 120 | 412 | 29-1 |
| Ga-13 | 170 | 555 | 30,6 | | | | |
| Media | 163,8 ± 16,1 σ=38,7 | 547,3 ± 25,1 σ=60,3 | 29,9 ± 2,3 σ=5,5 | | 160 ± 10,5 σ=23,1 | 561 ± 36,5 σ=80,3 | 28,9 ± 1,9 σ=4,2 |
| | | | | Hembra en puesta. | | | |
| | | | | *Ga-6 | 1260 | 705 | 178,7 |

tratamiento del plasma con $CO_3Mg$, en diferentes muestras de ejemplares de ambas especies.

## Discusión

Las características especiales del transporte del hierro sérico en las gallinas en puesta (7) no constituye un fenómeno específico, sino que, como cabía esperar, puede hacerse extensivo a otras aves en igual estado.

El estudio realizado sobre el transporte del Fe en patos y gansos ha puesto en evidencia, en forma todavía más acentuada, que en estas especies el período de la puesta debe representar también una alteración del metabolismo del Fe. Dicha alteración se traduce en un aumento considerable de la sideremia a fin de atender a la formación de los huevos. En las gallinas en puesta el valor medio de la sideremia era de 500 γ %, mientras que en las patas es de 1065 γ % (Tabla I), y debe suponerse de un orden parecido en los gansos (Tabla II).

Los contenidos en Fe sérico en los lotes correspondientes a machos o hembras no en puesta, no presentan entre sí dife-

TABLA III

*Contenido en hierro del suero en ejemplares de ambas especies, determinado directamente (S) y previo tratamiento con carbonato magnésico ($S^{mg}$), comparado a los correspondientes valores de capacidad total de fijación (CTF)*

| | | S γ Fe % | CTF γ Fe % | $S^{mg}$ γ Fe % |
|---|---|---|---|---|
| Gansos (machos) | Ga-7 | 217 | 660 | 210 |
| | Ga-8 | 200 | 607 | 195 |
| Patos (machos) | P-3 | 145 | 440 | 150 |
| | P-32 | 240 | 760 | 255 |
| *Hembras no en puesta* | P-2 | 160 | 570 | 170 |
| | P-11 | 150 | 552 | 190 |
| *Hembras en puesta* | P-9 | 2200 | 825 | 922 |
| | * » | 950 | 600 | 825 |
| | * » | 870 | 450 | 450 |
| | P-10 | 1600 | 920 | 1000 |
| | * » | 1300 | 600 | 650 |
| | * » | 850 | 540 | 555 |
| | P-13 | 575 | 340 | 397 |
| | P-17 | 1380 | 502 | 370 |
| | P-18 | 1300 | 336 | 262 |
| | P-20 | 1000 | 375 | 225 |
| | P-21 | 990 | 375 | 650 |
| | Media | 1183 ± 143,9 $\sigma$ = 446,3 | 533 ± 59,6 $\sigma$ = 185,3 | 573 ± 80,4 $\sigma$ = 249,5 |

* Determinaciones realizadas en intervalos de 10 días, aproximadamente.

rencias estadísticamente significativas. Sin embargo, su comparación con los valores de las hembras en puesta es altamente significativa.

Tampoco resultan estadísticamente significativas las diferencias existentes entre los valores medios de las capacidades totales de fijación (CTF) ni en el caso más extremo (patos machos, 634,5 γ % ; y patas hembras en puesta, 472 γ %). Nos parece insólita la observación de KLEIN (3) y JENSEN y *col.* (2) de no poder demostrar ninguna capacidad de fijación del Fe en el suero del pato, sólo explicable por la aplicación de métodos poco adecuados.

Las hembras experimentan grandes variaciones en sus sideremias que guardan estrecha relación con los períodos de

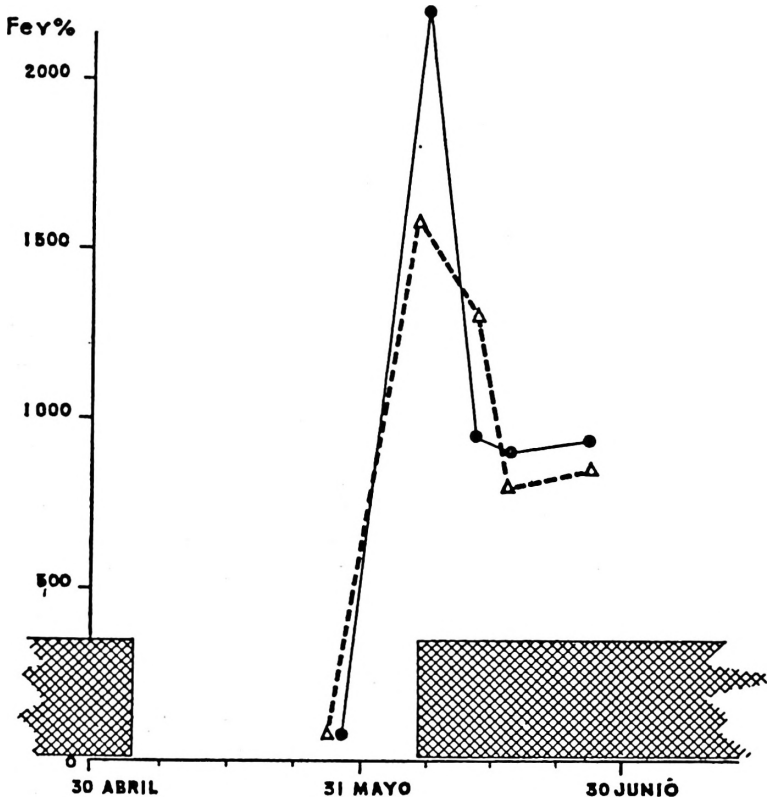


Figura 1
Variaciones en el contenido en hierro sérico en dos patas con relación a la puesta. La zona rayada señala los días de puesta.

puesta o de inactividad. En la fig. 1 se muestra como ejemplo las variaciones en la sideremia de dos patas cuyo traslado al laboratorio ocasionó el cese en la puesta por un mes, y la elevación considerable que alcanzó al principiar de nuevo la misma, para mantenerse a un nivel más próximo al valor medio hallado.

Es de gran interés también el comprobar las fluctuaciones que experimentan la concentración en siderofilina, como queda reflejada en los correspondientes valores de CTF (fig. 2) en los mismos ejemplares. Otros datos semejantes a los que se muestran en esta figura, nos permiten afirmar con seguridad la estrecha relación existente entre estas variaciones y la puesta.

Por otra parte, la observación de los valores medios de las capacidades totales de fijación (Tablas I y II) muestra que

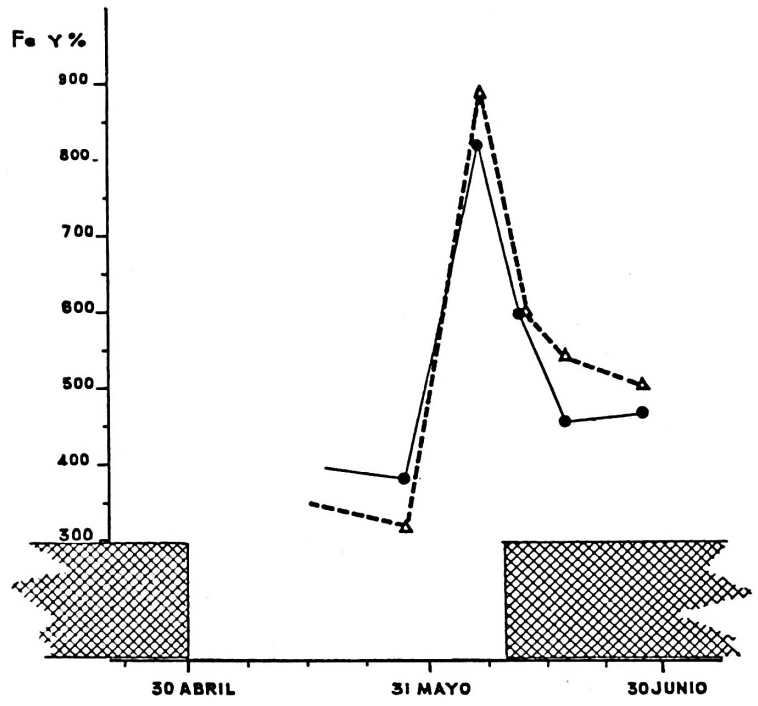


Figura 2
Variaciones en la capacidad total de fijación del hierro en el suero de dos patas con relación a la puesta. La zona rayada señala los días de puesta.

son bastante uniformes, y todos ellos claramente elevados La concentración absoluta de siderofilina calculada a partir de los datos de capacidad total de fijación da un valor medio de 0,42 g/100 c.c. suero en los patos, y 0,44 g/100 en los gansos. Estos valores son casi el doble de los citados en el hombre (0,2-0,32 g/100) (4) o en el pavo (0,24 g/100) (6), mientras que de forma poco comprensible se separan aún más de los valores medios en gallos y gallinas (0,18 g/100) (7) .

Esta siderofilina tiene saturada normalmente su capacidad de fijación en un 25-29 %, que se aproxima al valor hallado en los pavos (24,7-33,6 %), y es inferior al de gallos y gallinas no en puesta (67,8-51,7 %). Sin embargo, en las hembras en puesta, al igual que lo hallado en las gallinas, los valores del coeficiente de saturación son superiores al 100 %. Este hecho presenta las mismas características que las apuntadas en nuestro trabajo sobre las gallinas (7), pero es en las patas en puesta aun más acusado; frente a una sideremia media de 1065 γ Fe %, la capacidad total de fijación es sólo de 504 γ

Fe %, lo que representa un coeficiente de saturación del 227,5 %.

Esta alteración en los valores de S y CTF se explica al conocer la técnica de la determinación de la capacidad de fijación (11); la adición de $CO_3Mg$ como adsorbente del Fe adicionado para la saturación de la siderofilina, arrastra a éste y seguramente al que no está fijado firmemente a tal proteína.

Es por ello que ante el fenómeno sorprendente de la inversión de los valores entre sideremias y capacidades, hemos determinado los contenidos en Fe de diferentes ejemplares, comparando las determinaciones directas (S), con los obtenidos después de tratar las muestras con $CO_3Mg$ ($S_{mg}$). En la Tabla III se agrupan los valores de sideremia (S), capacidades totales de fijación (CTF) y sideremias después del tratamiento con $CO_3Mg$ ($S_{mg}$).

En los valores correspondientes a machos y a hembras no en puesta, en ambas especies, se comprueba cómo son prácticamente iguales los resultados de las sideremias, con uno u otro procedimiento.

En las hembras en puesta, por el contrario, se aprecia la notable disminución en el contenido en Fe que experimentan los sueros tratados con el carbonato; este resultado nos muestra que el Fe que es transportado por el suero (sideremia) debe hacerse por mecanismos de transporte diferentes y simultáneos. La comparación de los valores de $S_{mg}$ y CTF nos muestra que sus valores medios no pueden ser diferenciados estadísticamente, y que son aproximadamente la mitad del valor medio de las sideremias. Así pues, podemos señalar el hecho de que en las patas en puesta, la siderofilina transporta sólo un 50 % del hierro circulante y que el 50 % restante debe viajar unido a otra fracción o a la propia siderofilina, pero fijado más lábilmente.

Un estudio semejante realizado en las gallinas en puesta con los datos ya publicados (7) nos ha permitido llegar a una conclusión parecida; la cantidad de Fe transportada por la siderofilina a saturación es entre el 40 y el 50 % del Fe total circulante.

A la luz de estos resultados podemos suponer que las aves en puesta experimentan una exaltación del metabolismo del hierro que se manifiesta en una elevación considerable de la sideremia. Este mayor transporte hace que aumente la cantidad de siderofilina existente, y que saturada su capacidad normal quizás alguna fracción del suero contribuya al mismo, o que la siderofilina disponga de un mecanismo de emergencia que le permita completar el transporte.

## Resumen

Han sido estudiadas las sideremias y las capacidades totales de fijación del Fe del suero de dos especies de aves palmípedas: patos, variedad Kaki-Campbell, y ganso común blanco.

Se ha prestado especial atención a las hembras en puesta, a fin de poder analizar con mayor profundidad las características del transporte del hierro sérico.

El peculiar mecanismo de transporte del hierro sérico hallado por nosotros en las gallinas en puesta ha sido el motivo de extender su estudio a otras aves.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo nos permiten comprobar el paralelismo existente entre estas especies en cuanto al metabolismo del hierro y fenómeno de puesta.

Los valores de las sideremias experimentan una elevación considerable, llegando a valores medios de 1065 γ Fe %, mientras que en machos y hembras no en puesta son del orden de las 160 γ Fe %.

La capacidad total de fijación oscila entre 472 y 634 γ Fe %, que constituye un contenido medio en siderofilina bastante superior al citado en aves y mamíferos estudiados con anterioridad.

Se aprecia en las hembras en puesta la discrepancia entre los valores de sideremias y capacidades totales de fijación en el mismo sentido que en las gallinas, utilizando las técnicas de Ramsay como entonces.

Con la aplicación de estos métodos se demuestra que la siderofilina, en estas especies, transporta sólo el 50 % del hierro circulante, y el resto debe ir unido a otras fracciones proteicas, o a la propia siderofilina, pero en una forma mucho más lábil.

Esta conclusión concuerda con la obtenida en nuestro anterior estudio sobre las gallinas.


---

Queremos expresar nuestro agradecimiento al señor Anadon de S. A. Prodes (Retuerta, Valladolid) y a los señores Arias (Bayona, Valladolid) por las facilidades que nos han dado en el estudio de estas aves.


## Summary

### Studies on the iron transport in two species of palmiped birds

Generally, studies on the Fe metabolism in birds consulted by us (1, 2, 3, 5, 12, 13) analize aspects different to the ones we are particulary interested. The mechanism of iron transport in blood constitutes, on the contrary, our principal purpose, and we have already analyzed this problem in turkey (6) and hen (7), aside from other similar studies in mammals (8, 9).

The special characteristics of the iron metabolism found

by us in the hen during the laying period (7), suggested future investigations in other birds in identical state.

We have studied two species of palmiped birds: the duck (*Anas platyrhynca,* var. *Kaki-Campbell*) and the common white goose (*Anser anser*).

The blood samples have been obtained from the wing vein and taking the plasma by ways of centrifuging the heparinized blood.

Serum iron (S) and total iron-bindig capacity (TIBC) were determined in accordance with RAMSAY (10, 11), and with these values, the saturation coeficient (SC) of siderophilin was calculated.

The results statistically elaborated (Student's t), assembled in the tables I (ducks) and II (geese) in three different groups: males, non-laying females and laying females.

The contents of serum iron in both males and non-laying females of both species show a certain uniformity (mean values of 132 γ and 163.8 γ Fe %, tables I and II) and cannot be found significant differences either between sexes or between species. The laying females, on the contrary, constitute a clearly differentiated lot (mean of 1065 γ Fe % in ducks and 1260 γ Fe % in the geese) with an increase of serum iron, this being much greater than that found in hens (7). It is evident that there is a relation between the beginning of the laying period and the increase of serum iron (fig. 1) with a special increase at the beginning.

On the other hand, the values of the TIBC do not have significant differences, but it should be noted the average values are clearly raised (472 and 635.5 γ Fe %). The absolute concentration of siderophilin calculated from them, gives values which range from 0.42 and 0.44 gr/100 and which are much more superior than those noted on men (4), and to those which can be calculated from our observation with the turkey (6) and the hen (7).

The values of TIBC in each specimen also show a certain variation in relation with the laying (Fig. 2) and follow the indicated variations for the serum iron.

The siderophilin is found normally satured in a 25 to 29 %. Similar values are found in the turkeys. In laying females, the saturation coeficients (SC) exceed the 100 %, and it is more noticeable here (227.5 %) than what can be observed in the hen (7).

The inversion in the values of the serum iron and the TIBC which at first sight resembles abnormal, can also be noted in the females ducks and females geese. This abnor-

mality can be explained by the knowledge of the technique of determination of the TIBC (11), in which $CO_3Mg$ is applied to absorb the Fe surplus. The determination of serum iron, previous to the treatment with carbonate, also determines a clear decrease in the Fe concentration (table III) of the serum from laying females, but does not affect the serum iron determinations in the samples from males and non-laying females. It should be pointed out how the average value of the serum iron, before the treatment with $CO_3Mg$, is almost the same as that of the TIBC (table III). This shows us how by following the RAMSAY'S technique the siderophilin should transport only 50 % of the circulating iron. The already published data on hens (7) have allowed us to reach a similar conclusion.

We must still elucidate if anyother protein fraction collaborates in the transport or if it is the same siderophilin which has another iron-binding mechanism much more labile, so that the carbonate is capable of adsorbing it.

## Bibliografía

(1) HALKETT, J. A. E., PETERS, TH., and ROSS, J. R.: *J. Biol. Chem.*, **231**, 187, 1958.

(2) JENSEN, W. N., ASHENBRUCKER, H., CARTWRIGHT, G. E., and WINTROBE, M. M.: *J. Lab. Clin. Med.*, **42**, 833, 1953.

(3) KLEIN, J. R.: *Am. J. Physiol.*, **196**, 656, 1959.

(4) LAURELL, C. B.: *Eisenstoffwechsel*, p. 103. G. Thieme Verlag, Stuttgart, 1959.

(5) MARSHALL, M. E., and DEUTSCH, H. F.: *J. Biol. Chem.*, **189**, 1, 1951.

(6) PLANAS, J.: *R. esp. Fisiol.*, **16**, 33, 1960.

(7) PLANAS, J., y DE CASTRO, S.: *R. esp. Fisiol.*, **16**, 197, 1960.

(8) PLANAS, J., y DE CASTRO, S.: *R. esp. Fisiol.*, **16**, supl. III, 189, 1960.

(9) PLANAS, J., and DE CASTRO, S.: *Nature*, **187**, 1126, 1960.

(10) RAMSAY, W. N. M.: *Clin. Chim. Acta*, **2**, 214, 1957.

(11) RAMSAY, W. N. M.: *Clin. Chim. Acta*, **2**, 221, 1957.

(12) RAMSAY, W. N. M., and CAMPBELL, E. A.: *Biochem. J.*, **58**, 313, 1954.

(13) WARBURG, O., und KREBS, H. A.: *Biochem. Z.*, **190**, 147, 1927. (Citado por BUDDENBROCK en *Vergleichende Physiologie*, tomo III, p. 609, 1956.)